β-葡聚糖对生长育肥猪生长性能、胴体性能和肉品质的影响

杜　建　陈代文　余　冰　何　军　虞　洁　罗钧秋*1

（四川农业大学动物营养研究所，动物抗病营养教育部重点实验室，成都 611130）

摘　要：本试验通过研究β-葡聚糖对生长育肥猪生长性能、胴体性能和肉品质的影响，旨在探明β-葡聚糖在生长育肥猪饲粮中的应用效果及适宜添加量。试验采用单因子试验设计，选取 96 头 20 kg 左右的健康“杜×长×大”猪，按体重和性别比例随机分为 4 个组，每组 6 个重复，每个重复 4 头猪。对照组饲喂基础饲粮，试验组在基础饲粮中分别添加 50、100 和 200 mg/kg β-葡聚糖。试验期为 103 d。结果表明：1)与对照组相比，饲粮添加 100 mg/kg β-葡聚糖显著提高生长育肥猪平均日增重(P<0.05)，显著降低料重比(P<0.05)，显著改善饲粮干物质、能量和粗蛋白质消化率(P<0.05)；2)与对照组相比，饲粮添加 100 mg/kg β-葡聚糖显著提高猪只胴体长和肌肉 pH(P<0.05)，显著降低肌肉滴水损失（P<0.05），显著改善肉色（P<0.05），同时显著提高肌肉中肌苷酸含量（P<0.05），改变猪肉中饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸的组成比例，从而改善肉的风味。综上，饲粮中添加 100 mg/kg β-葡聚糖可改善生长育肥猪的生长性能，提高养分消化率，提高胴体长，改善猪肉品质。

关键词：β-葡聚糖；生长育肥猪；生长性能；胴体性能；肉品质

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

在养猪生产中，抗生素作为动物性饲料添加剂，在减少和控制动物机体细菌病的发生、促进动物生长的同时，也带来了耐药性、兽药残留、畜产品不安全和环境污染等危害[1]。因此，寻求抗生素的绿色安全替代品是解决负面影响的有效途径之一。

β-葡聚糖是广泛分布于真菌、细菌和粮谷类作物种子（燕麦、黑麦和大麦等）中的一种功能性多糖，主要以细胞壁结构成分的形式存在，具有调节机体免疫、抗感染以及调节血糖等多种生物活性和功能[2-4]。β-葡聚糖通常以β-1,3-糖苷键为主链，以β-1,6-糖苷键为支链，其特殊的键连接方式和分子内氢键的存在造成螺旋型的分子结构，这使其独特的构型很容易被免疫系统接受。前人研究所用β-葡聚糖主要来源于酵母壁提取物，含有多种多糖成分，且纯度低。本试验选用的β-葡聚糖来源于以蔗糖为底物，通过微生物发酵产生的一种新型β-葡聚糖，分子量为 200 ku，有效含量≥90%。因其易溶于水、纯度高，以β-1,3 糖苷键为主，可能

收稿日期：2018-03-05

基金项目：四川省国际科技合作项目（2016HH0004）

作者简介：杜　建（1995—），男，安徽合肥人，硕士研究生，研究方向为猪营养与代谢。E-mail: dujian0523@163.com

*通信作者：罗钧秋，副研究员，硕士生导师，E-mail: 770353053@qq.com

具有独特的生理功能。研究表明，β-葡聚糖可以改善断奶仔猪和肉仔鸡生长性能，其原因与葡聚糖促进肠道健康、提高机体免疫机能有关[5-7]。但大多数研究以幼龄动物为研究对象，聚焦在短时间饲喂葡聚糖的效果，长时间的饲喂效果有待进一步研究。因此，本文以生长育肥猪为试验对象，以新型β-葡聚糖为研究材料，考察不同添加水平的β-葡聚糖对生长育肥猪生长性能、胴体性能和肉品质的影响，旨在探究β-葡聚糖在生长育肥猪上的饲喂效果，为确定β-葡聚糖的适宜添加剂量提供试验依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计及饲粮

本试验采用单因子试验设计，选取 96 头 20 kg 左右的健康“杜×长×大”猪，按体重随机分为 4 个组，每组 6 个重复，每个重复 4 头猪（3 公 1 母）。基础饲粮（对照组）为根据NRC(2012)配制的玉米-豆粕型饲粮，试验组在基础饲粮基础上分别添加 50、100 和 200 mg/kg β-葡聚糖（有效含量≥90%）。试验期为 103 d，分为 25~50 kg、51~75 kg 和 76~110 kg 3 个阶段。基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of basal diets （air-dry basis） %

项目 Items	阶段 Stage		
	25~50 kg	51~75 kg	76~110 kg
原料 Ingredients			
玉米 Corn	67.54	72.04	73.00
豆粕 Soybean meal	23.50	19.20	17.76
麦麸 Wheat bran	5.00	5.00	6.00
豆油 Soybean oil	1.00	1.00	1.00
L-赖氨酸 *L*-Lys	0.36	0.31	0.20
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.06	0.03	0.01
L-苏氨酸 *L*-Thr	0.10	0.08	0.03
L-色氨酸 *L*-Try	0.01	0.01	0.00
氯化胆碱 Choline chloride	0.15	0.15	0.15
石粉 Limestone	0.60	0.50	0.55
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.10	1.00	0.62

食盐 NaCl	0.25	0.35	0.35
微量元素预混料 Microelement premix[1)]	0.30	0.30	0.30
复合多维 Multi-vitamin[2)]	0.03	0.03	0.03
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[3)]			
消化能 DE/（MJ/kg）	13.81	13.85	13.85
粗蛋白质 CP	16.61	15.04	14.49
钙 Ca	0.67	0.58	0.51
总磷 TP	0.56	0.53	0.47
有效磷 AP	0.33	0.31	0.25
赖氨酸 Lys	0.98	0.85	0.74
蛋氨酸 Met	0.28	0.24	0.21
苏氨酸 Thr	0.60	0.52	0.46
色氨酸 Try	0.17	0.15	0.14

1)微量元素预混料为每千克饲粮提供 The microelement premix provided the following per kg of diets:Fe 100 mg，Cu 8 mg，Mn 4 mg，Zn 100 mg，Se 0.3 mg，I 0.3 mg。

2)复合多维为每千克饲粮提供 The multi-vitamin provided the following per kg of diets：VA 17 500 IU，VD_3 5 000 IU，VE 37.5 IU，VK_3 5 mg，VB_1 5 mg，VB_2 12.5 mg，VB_6 7.5 mg，VB_{12} 0.05 mg，烟酸 niacin 50 mg，叶酸 folic acid 2.5 mg，生物素 biotin 0.2 mg。

3)营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.2　饲养管理

试验在四川眉山丹棱猪场进行。试验分为 3 个阶段，25~50 kg 饲喂 35 d；51~75 kg 饲喂 28 d；76~110 kg 饲喂 40 d，共 103 d。饲喂时间为每天 08:00、14:00 和 20:00。试验期间严格控制温湿度，每天进行圈舍打扫，保证猪自由采食和饮水。每天记录采食量、浪费量和余料量，每个阶段对猪进行称重。

1.3　样品采集及处理

3 个阶段结束时，每个重复选择 1 头接近平均体重的猪，前腔静脉采血，离心，制备血清备测。试验结束时，每个重复选择 1 头接近平均体重的猪进行屠宰。采取背最长肌肌肉样，一部分放置 4 ℃冰箱用于肌肉剪切力的测定，其余部分用于蒸煮损失、滴水损失、肌肉 pH

和肉色的测定，剩余肌肉样放置于-20 ℃，用于肌苷酸（IMP）和脂肪酸(FA)含量的测定。

1.4 考察指标与测定方法

1.4.1 生长性能

平均日增重（ADG）：分别在各阶段的起始和结束时对猪只进行空腹称重，（末重-始重）/天数，即为 ADG;

平均日采食量（ADFI）：以重复为单位，准确记录猪只每天采食量，总采食量/天数，即为 ADFI;

料重比（F/G）：ADFI/ADG，即为 F/G。

1.4.2 养分消化率

在每个试验阶段最后连续 5 d 采用不完全收粪法收集粪便。每天在猪圈不同点位采集代表粪样 200 g，加 10%硫酸 10 mL，搅拌均匀，放置 4 ℃冰箱备用。测定前将粪样烘至半干，粉碎。饲粮和粪中的水分、粗蛋白质含量及能量参考张丽英[8]《饲料分析及饲料质量检测技术》测定。采用内源指示剂（4 mol/L 盐酸不溶性灰分）计算，公式如下：

养分消化率（%）=100-（饲粮中盐酸不溶性灰分含量×粪中养分含量）/(粪中盐酸不溶性灰分含量×饲粮中养分含量)×100。

1.4.3 胴体性能和肉品质

胴体重、胴体长、背膘厚和屠宰率在屠宰现场测定并计算。眼肌面积、肌肉 pH、肉色、蒸煮损失、滴水损失和剪切力测定方法如下。

眼肌面积：在胸腰椎结合处垂直切下用游标卡尺测定眼肌的宽度和高度，计算眼肌面积。

眼肌面积(cm^2)=眼肌高度(cm)×眼肌宽度(cm)×0.7。

肌肉 pH：用 pH-STAR(SFK-Technology，Denmark)测定猪只屠宰后 45 min 和 24 h 背最长肌的 pH。

肉色：用日本美能达生产的 CR-400(MINOLTA)色差计对最末胸椎与第 1 腰椎结合处背最长肌的横断面进行肉色评分。

滴水损失：取第 2~3 腰椎处背最长肌，去掉肌外膜上附着的脂肪，横切成 2 cm 厚的薄片，修整成长 5 cm，宽 3 cm 的长方体后称重，然后用铁丝钩住肉样的一段，使肌纤维垂直向上，装入充气的塑料薄膜袋中，肉样不与袋壁接触，扎好袋口，吊挂于 4 ℃的冰箱中，贮藏 24 h 后称重，按以下公式计算肌肉的滴水损失：

滴水损失(%)=(贮藏前重-贮藏后重)/贮藏前重×100。

蒸煮损失：将样品用电子天平称重（蒸前重，$W1$），在铝锅的蒸格上用沸水蒸 30 min；

取出后，置于室内无风阴凉处晾 15 min 后再称重（蒸后重，*W*2）。计算公式为：

蒸煮损失（%）=（*W*1-*W*2）/*W*1×100。

肌肉嫩度(剪切力)：采用国际通用的测定嫩度的华纳-布莱之勒尔剪切力(Warner-Bratzler shear force,WBSF)值进行计量。具体如下：采集回实验室的猪肉切 2.54 cm 厚度的 1 片，放入水浴锅至肉块中心温度达到 71 ℃。用内径为 1.27 cm 的取样器，从肉样上沿肌肉纤维方向取至少 3 个肉柱，再用剪切力测定仪(Texture Analyser)测定每个肉柱的剪切力值。最后求出其平均值，即为样品的剪切力值。

1.4.4　肌肉 IMP 和 FA 含量

肌肉 IMP 含量采用高效液相色谱法测定；肌肉 FA 含量根据 GB/T 5009.6—2003《食品中脂肪的测定》和 GB/T 17376—2008《动植物油脂脂肪酸甲酯制备》中的方法进行脂肪抽提和酯交换法甲酯化，采用气相-质谱联用法测定。

1.5　统计分析

所有数据均采用 SPSS 17.0 软件进行统计，用单因素方差分析（one-way ANOVA）进行差异显著性检验，并用 LSD 法进行多重比较。结果用平均值±标准误（mean±SEM）表示，以 $P<0.05$ 为差异显著性判断标准。

2　结果与分析

2.1　β-葡聚糖对生长肥育猪生长性能的影响

由表 2 可知，与对照组相比，饲粮中添加 100 mg/kg β-葡聚糖显著提高 51~75 kg 阶段 ADG（$P<0.05$），显著降低该阶段 F/G（$P<0.05$）；饲粮中添加 100 mg/kg β-葡聚糖显著提高 76~110 kg 阶段 ADG（$P<0.05$），添加 50 和 100 mg/kg β-葡聚糖显著降低 76~110 kg 阶段 F/G（$P<0.05$），其余各组与对照组相比差异不显著（$P>0.05$）。从全期（25～110 kg）来看，饲粮中添加 100 mg/kg β-葡聚糖显著提高生长肥育猪 ADG（$P<0.05$），并显著降低 F/G（$P<0.05$），其余各组与对照组相比差异不显著（$P>0.05$）。

表 2　β-葡聚糖对生长育肥猪生长性能的影响

Table 2　Effects of β-glucan on growth performance of growing-finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	β-葡聚糖添加水平β-Glucan supplemental levels/(mg/kg)		
		50	100	200
25~50 kg				

始重 Initial weight/kg	21.83±1.75	21.94±1.54	21.92±1.53	21.94±1.48
平均日增重 ADG/(kg/d)	0.84±0.19	0.81±0.25	0.83±0.27	0.78±0.41
平均日采食量 ADFI/(kg/d)	1.72±0.47	1.67±0.11	1.79±0.46	1.66±0.55
料重比 F/G	2.03±0.45	2.08±0.31	2.13±0.47	2.12±0.47
51～75 kg				
始重 Initial weight/kg	50.44±4.01	50.29±5.73	51.32±3.62	49.24±4.39
平均日增重 ADG/(kg/d)	0.93±0.41[a]	0.93±0.36[a]	1.08±0.23[b]	0.99±0.32[ab]
平均日采食量 ADFI/(kg/d)	2.74±0.89	2.68±0.68	2.82±0.49	2.77±0.68
料重比 F/G	2.98±0.12[b]	2.91±0.10[b]	2.62±0.70[a]	2.81±0.53[ab]
76～110 kg				
始重 Initial weight/kg	75.56±1.47	76.33±3.58	81.56±5.66	74.96±6.26
平均日增重 ADG/(kg/d)	0.94±0.50[a]	1.09±0.24[ab]	1.16±0.50[b]	1.07±0.45[ab]
平均日采食量 ADFI/(kg/d)	3.13±0.50	3.11±0.34	3.09±0.23	3.12±0.27
料重比 F/G	3.37±0.13[b]	2.79±0.91[a]	2.73±0.79[a]	3.09±0.96[ab]
25～110 kg				
末重 Final weight/kg	113.16±4.64	119.93±4.40	127.96±5.93	117.76±9.55
平均日增重 ADG/(kg/d)	0.89±0.18[a]	0.95±0.18[a]	1.02±0.18[b]	0.93±0.35[a]
平均日采食量 ADFI/(kg/d)	2.58±0.38	2.63±0.64	2.69±0.75	2.66±0.56
料重比 F/G	2.89±0.82[b]	2.76±0.61[b]	2.63±0.49[a]	2.86±0.56[b]

同行数据肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著（$P>0.05$），不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

In the same row, values with the same letter or no letter superscripts mean no significant difference （$P>0.05$）, while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 β-葡聚糖对生长肥育猪养分消化率的影响

由表 3 可知，与对照组相比，25~50 kg 阶段，饲粮中添加β-葡聚糖对干物质、能量和粗蛋白质消化率无显著影响（$P>0.05$）；51~75 kg 阶段，饲粮中添加 100 mg/kg β-葡聚糖显著提高干物质、能量和粗蛋白质消化率（$P<0.05$）；76~110 kg 阶段，饲粮中添加 50 和 100 mg/kg β-葡聚糖显著提高干物质和能量消化率（$P<0.05$），但粗蛋白质消化率并没有发生显著变化（$P>0.05$）。

表 3　β-葡聚糖对生长育肥猪养分消化率的影响

Table 3　Effects of β-glucan on nutrient digestibility of growing-finishing pigs　%

项目 Items	对照组 Control group	β-葡聚糖添加水平 β-Glucan supplemental levels/(mg/kg)		
		50	100	200
25~50 kg				
干物质 DM	74.71±0.33[ab]	74.50±0.39[b]	76.95±0.79[a]	75.29±0.27[ab]
能量 Energy	74.88±0.21	74.29±0.28	75.15±0.39	74.99±0.65
粗蛋白质 CP	67.88±0.73	65.56±1.00	67.93±0.46	69.03±0.72
51～75 kg				
干物质 DM	74.28±0.72[a]	75.99±1.01[a]	80.76±0.59[b]	75.11±0.98[a]
能量 Energy	73.93±0.75[a]	74.72±0.70[a]	80.69±0.58[b]	74.79±0.25[a]
粗蛋白质 CP	64.12±1.12[a]	67.61±1.27[ab]	73.15±0.72[b]	67.29±1.15[ab]
76～110 kg				
干物质 DM	85.14±0.35[a]	87.23±0.19[b]	87.38±0.45[b]	86.21±0.50[ab]
能量 Energy	85.13±0.39[a]	87.09±0.47[b]	87.41±0.51[b]	86.52±0.43[ab]
粗蛋白质 CP	79.65±0.67	81.02±0.38	81.04±1.13	80.69±1.02

2.3　β-葡聚糖对生长肥育猪胴体性能的影响

由表 4 可知，100 和 200 mg/kg β-葡聚糖组猪胴体长显著高于对照组（P<0.05），虽然 50 mg/kg β-葡聚糖组胴体长数值高于对照组，但并未表现出显著差异（P>0.05）。不同试验组表现为 100 mg/kg β-葡聚糖组猪胴体长显著高于 50 mg/kg 葡聚糖组（P<0.05），但与 200 mg/kg β-葡聚糖组之间没有显著差异（P>0.05）。

表 4　β-葡聚糖对生长肥育猪胴体性能的影响

Table 4　Effects of β-glucan on carcass performance of growing-finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	β-葡聚糖添加水平 β-Glucan supplemental levels/(mg/kg)		
		50	100	200
胴体重 Carcass weight/kg	81.57±1.12	81.02±1.03	81.04±1.41	79.94±1.79
胴体长 Carcass length/cm	104.15±0.96[b]	106.05±1.21[b]	109.18±0.89[a]	108.97±0.95[a]
背膘厚 Backfat thickness/mm	18.13±1.08	18.66±0.69	18.56±1.31	16.78±1.02

屠宰率 Slaughter rate/%	0.70±0.006	0.71±0.007	0.71±0.006	0.70±0.009

2.4 β-葡聚糖对生长肥育猪肉品质的影响

由表 5 可知，饲粮中添加β-葡聚糖对肥猪肉的 pH 有一定的影响，表现为 100 mg/kg β-葡聚糖组猪肉 $pH_{45\ min}$ 显著高于对照组（P<0.05），50 和 200 mg/kg β-葡聚糖组猪肉 $pH_{45\ min}$ 与对照组之间没有显著差异（P>0.05）。与对照组相比，饲粮中添加 100 mg/kg β-葡聚糖显著降低猪肉滴水损失（P<0.05），说明肌肉系水力增强，但 50 和 200 mg/kg β-葡聚糖对猪肉滴水损失并没有产生显著影响（P>0.05）。与对照组相比，饲粮中添加β-葡聚糖虽然不影响 45 min 肉色亮度（L*）值（P>0.05），但显著影响 45 min 肉色红度（a*）值和黄度（b*）值（P<0.05）。表现为：100 mg/kg β-葡聚糖组 45 min 肉色 a*值显著高于对照组（P<0.05），50 和 200 mg/kg β-葡聚糖组 45 min 肉色 a*值与对照组相比差异不显著（P>0.05）；饲粮中添加β-葡聚糖显著降低 45 min 肉色 b*值（P<0.05），但各试验组之间无显著差异（P>0.05）。饲粮中添加β-葡聚糖对 24 h 肉色并没有产生显著影响（P>0.05）。

表 5 β-葡聚糖对生长肥育猪肉质的影响

Table 5 Effects of β-glucan on meat quality of growing-finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	β-葡聚糖添加水平 β-Glucan supplemental levels/(mg/kg)		
		50	100	200
眼肌面积 Eye muscle area/cm²	42.85±2.94	46.37±3.60	42.12±1.64	42.60±1.69
$pH_{45\ min}$	6.27±0.08[a]	6.38±0.14[ab]	6.58±0.09[b]	6.52±0.09[ab]
$pH_{24\ h}$	5.91±0.05	5.76±0.04	5.85±0.03	5.90±0.07
蒸煮损失 Cooking loss/%	37.00±0.90	37.70±0.50	36.60±0.90	37.90±0.90
滴水损失 Drip loss/%	3.40±0.30[b]	2.90±0.20[ab]	2.50±0.10[a]	2.80±0.40[ab]
剪切力 Shear force/kg	3.04±0.33	3.38±0.26	3.56±0.51	3.82±0.56
45 min 亮度 $L^*_{45\ min}$	38.13±0.63	38.24±0.22	38.38±0.48	37.72±0.36
45 min 红度 $a^*_{45\ min}$	3.71±0.24[a]	3.87±0.41[ab]	4.60±0.25[b]	3.63±0.19[a]
45 min 黄度 $b^*_{45\ min}$	2.24±0.11[b]	1.68±0.13[a]	1.70±0.15[a]	1.62±0.22[b]
24 h 亮度 $L^*_{24\ h}$	52.71±0.89	54.16±0.51	53.27±0.88	52.25±0.70
24 h 红度 $a^*_{24\ h}$	6.79±0.64	7.33±0.41	8.18±0.50	7.31±0.55
24 h 黄度 $b^*_{24\ h}$	5.59±0.47	4.86±0.23	4.95±0.47	5.02±0.38

2.5 β-葡聚糖对生长肥育猪肌肉 IMP 和 FA 含量的影响

IMP 是肉质鲜味特性的主要物质基础。由表 6 可知，与对照组相比，β-葡聚糖添加水平为 50~100 mg/kg 时，肌肉 IMP 含量显著增加（P<0.05）。与对照组相比，β-葡聚糖组肌肉中葵酸、月桂酸、肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸和油酸含量差异不显著（P>0.05）；添加不同水平的β-葡聚糖可以提高肌肉十六烯酸的含量，且当添加量为 50 mg/kg 时，十六烯酸的比例提高了 11.98%，但差异不显著（P>0.05）；当β-葡聚糖的添加量为 100 mg/kg 时，肌肉中十七酸、亚油酸和花生酸的含量分别显著提高了 47.3%、14.4%和 34.4%（P<0.05）；同时，饲粮添加β-葡聚糖可以显著提高肌肉顺-11-二十烯酸和二十碳二烯酸的含量（P<0.05）。

表 6　β-葡聚糖对生长肥育猪肌肉 IMP 和 FA 含量的影响

Table 6　Effects of β-glucan on contents of IMP and FA in muscle of growing-finishing pigs　%

项目 Items	对照组 Control group	β-葡聚糖添加水平β-Glucan supplemental levels/(mg/kg) 50	100	200
肌苷酸 IMP/(mg/g)	1.221±0.035[a]	1.451±0.024[b]	1.465±0.026[b]	1.385±0.045[ab]
葵酸 Canoic acid	0.134±0.011	0.126±0.010	0.132±0.005	0.136±0.012
月桂酸 Lauric acid	0.093±0.005	0.086±0.006	0.090±0.004	0.067±0.009
肉豆蔻酸 Myristic acid	1.594±0.097	1.522±0.049	1.618±0.065	1.550±0.079
棕榈酸 Palmitic acid	27.523±1.101	27.484±0.506	27.558±0.298	27.405±0.153
十六烯酸 Gaidic acid	3.590±0.312	4.020±0.353	3.966±0.198	3.736±0.165
十七酸 Margaric acid	0.203±0.108[b]	0.244±0.018[a]	0.299±0.015[a]	0.241±0.010[a]
十七烯酸 Heptadecenoic acid	0.083±0.009[a]	0.088±0.015[a]	0.069±0.008[b]	0.074±0.005[a]
硬脂酸 Stearic acid	13.901±0.898	13.357±0.956	14.123±0.304	13.320±0.567
油酸 Oleic acid	46.675±0.674	45.543±0.895	45.315±0.371	45.679±0.787
亚油酸 Linoleic acid	4.781±0.406[b]	5.460±0.377[a]	5.470±0.352[a]	5.161±0.253[a]
花生酸 Arachidic acid	0.125±0.023[b]	0.153±0.008[a]	0.168±0.012[a]	0.130±0.014[ab]
顺-11-二十烯酸 *Cis*-11-gadoleic acid	0.462±0.035[b]	0.593±0.017[a]	0.591±0.021[a]	0.643±0.039[a]
二十碳二烯酸 Eicosadienoic acid	0.113±0.009[b]	0.152±0.008[a]	0.144±0.011[a]	0.151±0.081[a]
花生四烯酸 Arachidonic acid	0.186±0.029	0.245±0.023	0.193±0.019	0.215±0.024
饱和脂肪酸 Saturated fatty acid	43.271±0.683	42.972±1.176	43.918±0.627	42.849±0.652
不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acid	55.890±0.834	56.110±0.946	55.744±0.569	55.677±0.677

单不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acid	50.810±0.798	50.244±1.209	49.941±0.654	50.150±0.610
多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated fatty acid	5.080±0.240	5.866±0.411	5.803±0.317	5.527±0.197
总脂肪酸 Total fatty acid	99.161±0.533[ab]	99.082±0.336[ab]	99.662±0.085[a]	98.526±0.679[b]

3 讨 论

3.1 β-葡聚糖对生长肥育猪生长性能的影响

本试验结果表明，在生长育肥猪饲粮中添加 100 mg/kg β-葡聚糖显著改善 25~110 kg 生长肥育猪的生长性能。王辉田等[9]在饲粮中添加 1 000、1 500 和 2 000 mg/kg 酵母细胞壁多糖显著提高 22~42 日龄的肉鸡 ADG，降低 F/G。安尚泽等[10]添加 0.1% β-葡聚糖可有效提高仔猪 ADG，改善肠道结构。Dritz 等[11]研究发现，β-葡聚糖等能显著提高仔猪 ADG，降低死亡率。从酵母中提取的β-葡聚糖是一种天然免疫增强剂，适量添加可降低动物的各种应激反应，改善猪的非特异性免疫水平，提高动物的健康状况，进而提高生产性能[12]。本试验中，生长肥育猪 ADFI 和 ADG 随着β-葡聚糖添加剂量的增加而呈先上升后下降的趋势，主要原因可能是：一方面，低剂量β-葡聚糖作为免疫调节剂，调控免疫反应；另一方面长期采食高剂量β-葡聚糖可能会影响肠道对其他养分的吸收，并且饲喂添加 200 mg/kg β-葡聚糖饲粮可能使得生长肥育猪免疫系统过度激活，从而降低了生长性能。研究表明，葡聚糖的分子量、空间结构、主链上的分支度和官能团的数量均能影响葡聚糖的生物学功能[13]。本试验使用的葡聚糖是由 *D*-葡萄糖通过β-1,3 键相连成的直链线性大分子，具有独特的分子结构，以 3 股螺旋的构象存在，与免疫活性密切相关，从而改善生长肥育猪的健康状况，提高生长性能。

3.2 β-葡聚糖对生长肥育猪养分消化率的影响

β-葡聚糖是一类非淀粉多糖（NSP），前人对 NSP 的研究较多。Yin 等[14]在生长猪上研究表明，饲粮中的 NSP 可以影响猪对饲粮的回肠表观消化率，当饲粮中的 NSP 含量从 8.3%增加到 19.3%时，饲粮干物质、能量和粗蛋白质的消化率分别从 77.3%、78.7%和 80.7%下降至 59.4%、59.5%和 72.0%。β-葡聚糖作为饲料中的抗营养因子成分之一，在消化道中吸水膨胀，变得黏稠，对饲粮中各种养分的消化利用具有明显的干扰和抑制作用[15]。然而，也有研究报道β-葡聚糖可以提高养分消化利用率。Hahn 等[16]在仔猪饲粮中分别添加 0.01%、0.02%、0.03%和 0.04%葡聚糖显著提高干物质、能量、粗蛋白质、粗脂肪、钙和磷的消化率。覃志彪[17]试验结果表明β-葡聚糖可以提高奥尼罗非鱼的蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶和纤维素酶的活性，从而提高养分消化率。本试验发现 100 mg/kg β-葡聚糖能够显著改善生长育肥猪饲粮干物质、能量和粗蛋白质消化率，这与上述结果一致。

3.3 β-葡聚糖对生长肥育猪胴体性能的影响

猪的胴体性状指胴体重量和组成，主要包括胴体重、平均背膘厚、眼肌面积和屠宰率[18]。在本试验中，100 和 200 mg/kg β-葡聚糖组胴体长显著高于对照组，说明β-葡聚糖能够提高生长肥育猪的生长性能，促进猪体长的增长，从而影响生长肥育猪的胴体长。

3.4 β-葡聚糖对生长肥育猪肉品质的影响

活体动物的肌肉 pH 为中性，此时蛋白质分子带净负电荷，能够吸附大量的水。动物屠宰后，由于糖酵解的作用，乳酸在肌肉中积累导致肌肉 pH 下降，而肌肉 pH 下降的速度与肉质滴水损失、剪切力有着高度相关[19]。本试验饲粮中添加 100 mg/kg β-葡聚糖能够使肌肉 45 min pH 显著高于对照组，说明β-葡聚糖能够延缓屠宰后肌肉 pH 降低的程度，增强肌肉的系水力，从而使得 100 mg/kg β-葡聚糖组的滴水损失较对照组显著降低。

肉色是评定肌肉外观的一项重要指标，主要受血红蛋白(Hb)含量、肌红蛋白(Mb)含量、氧化作用及光反射的影响[20]。肉色指标中，a*值越高越好，b*值越低越好。本试验结果显示，100 mg/kg β-葡聚糖组 45 min 肉色 a*值显著高于对照组，且试验组 45 min 肉色 b*值均显著低于对照组，这与 Cho 等[21]和 Zhang 等[22]试验结果一致。

肉质鲜味特性的主要物质基础是 IMP（次黄嘌呤核苷酸）。畜禽屠宰后，肌肉组织间停止供氧，而能量是由磷酸肌酸和糖酵解提供，并用于 ATP 的合成。随着糖酵解的停止和磷酸肌酸的耗尽，ATP 合成停止，同时 ATP 开始不断降解，生成 IMP[23]。本试验研究表明，在饲粮中添加 50~100 mg/kg β-葡聚糖能够显著增加肌肉 IMP 含量。脂肪酸组成是肉类特有的风味基础，猪肉中饱和脂肪酸和一元不饱和脂肪酸含量高，猪肉嫩度、多汁性、香味及总可接受程度的评分值则高。但如果多不饱和脂肪酸含量高，猪胴体脂肪变软，脂肪氧化酸败程度增加，猪肉产生异味，猪肉品质下降。本试验结果显示，100 mg/kg β-葡聚糖组中十七酸、亚油酸和花生酸的含量较对照组分别显著提高了 47.3%、14.4%和 34.4%，同时顺-11-二十烯酸和二十碳二烯酸的含量也有相应地提高。可见，生长育肥猪饲粮中添加β-葡聚糖提高了肌肉中 IMP 含量，改变猪肉中饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸的组成比例，从而改善肉的风味。

4 结 论

在饲粮中添加β-葡聚糖可以显著改善生长育肥猪的生长性能、养分消化率以及胴体长和肉品质。在本试验条件下，推荐生长育肥猪饲粮中β-葡聚糖的最适添加量为 100 mg/kg。

参考文献：

[1] 高婕,赵晓静,李彦军.酵母细胞壁多糖在养猪生产中的应用[J].饲料与畜

牧,2011(11):47–48.

[2] WOOD P J.Cereal β-glucans in diet and health[J].Journal of Cereal Science,2007,46(3):230–238.

[3] CHEN J Z.Beta-glucans in the treatment of diabetes and associated cardiovascular risks[J].Vascular Health and Risk Management,2008,4(6):1265–1272.

[4] 贾淑庚,李巍,黄仁录.β-葡聚糖作为饲料添加剂在畜禽生产中的应用[J].中国家禽,2014,36(24):67–69.

[5] 曲昆鹏,张倩,杨家昶,等.β-葡聚糖对肉仔鸡生长性能、免疫功能和肠道微环境的影响[J].动物营养学报,2016,28(7):2235–2242.

[6] 李军.酵母葡聚糖的制备及对断奶仔猪生产性能和免疫功能的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2005.

[7] 王忠,呙于明,袁建敏,等.酵母β-1,3/1,6-葡聚糖对断奶仔猪细胞免疫和体液免疫机能的影响[J].畜牧兽医学报,2007,38(12):1316–1322.

[8] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3版.北京:中国农业大学出版社,2007:49–61,97–99.

[9] 王辉田,孙超,陈思,等.酵母细胞壁多糖对肉仔鸡生长性能及免疫力的影响[J].中国饲料,2013(13):11–14.

[10] 安尚泽,汪岩,王雷,等.β-葡聚糖对仔猪生长性能和肠道黏膜形态的影响[J].延边大学农学学报,2012,34(1):79–82,92.

[11] DRITZ S S,SHI J,KIELIAN T L,et al.Influence of dietary β-glucan on growth performance,nonspecific immunity,and resistance to *Streptococcus suis* infection in weanling pigs[J].Journal of Animal Science,1995,73(11):3341–3350.

[12] 段丽娟,潘树德,边连全,等.酵母β-葡聚糖对仔猪生产性能的影响[J].饲料工业,2006,27(2):41-42.

[13] 蔡成岗,蒋新龙,蒋昌海.β-葡聚糖结构、功能与开发研究进展[J].农产品加工(学刊),2011(9):114-117.

[14] YIN Y L,MCEVOY J D G,SCHULZE H,et al.Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous nitrogen losses in growing pigs fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation[J].Livestock Production

Science,2000,62(2):119–132.

[15] 李春燕,李春梅,蒋红艳,等.β-葡聚糖酶对肉鸡生长性能的影响[J].中国畜牧兽医文摘,2012,28(9):194,175.

[16] HAHN T W,LOHAKARE J D,LEE S L.β-葡聚糖对断奶仔猪生长性能、养分消化率和免疫的影响[J].饲料博览,2007(7):60.

[17] 覃志彪.β-葡聚糖对奥尼罗非鱼生长性能、机体营养成分及消化酶活性的影响[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2012.

[18] 李登赴,万津,徐兵,等.品种和营养水平对猪生长性能、胴体性状和肉质的影响[J].动物营养学报,2016,28(3):872–880.

[19] 孙建广,张石蕊,谯仕彦,等.发酵乳酸杆菌对生长肥育猪生长性能和肉品质的影响[J].动物营养学报,2010,22(1):132–138.

[20] 武晓红,李旺,王生滨,等.不同酵母多糖水平对肉鸡屠体性状及肉品质的影响[J].江苏农业科学,2017,45(5):164–167.

[21] CHO J H,ZHANG Z F,KIM I H.Effects of single or combined dietary supplementation of β-glucan and kefir on growth performance,blood characteristics and meat quality in broilers[J].British Poultry Science,2013,54(2):216–221.

[22] ZHANG Z F,ZHOU T X,AO X,et al.Effects of β-glucan and *Bacillus subtilis* on growth performance,blood profiles,relative organ weight and meat quality in broilers fed maize-soybean meal based diets[J].Livestock Science,2012,150(1/2/3):419–424.

[23] 李仲玉,刘培峰,李佳凝,等.影响畜禽肌肉肌苷酸含量的因素及其相关基因的研究进展[J].中国饲料,2017(3):8–11,19.

Effects of β-Glucan on Growth Performance, Carcass Performance and Meat Quality of Growing-Finishing Pigs

DU Jian　CHEN Daiwen　YU Bing　HE Jun　YU Jie　LUO Junqiu*

(*Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of Ministry of Education, Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Chengdu* 611130*, China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary β-glucan on growth performance, carcass performance and meat quality of growing-finishing pigs, aiming to determine the application effect and suitable supplemental level of β-glucan in growing-finishing

pigs' diet. Single factor test design was adopted in this experiment and a total of 96 healthy Duroc×Landrace×Yorkshire pigs with an initial average body weight of 20 kg were randomly allocated into 4 groups with 6 replicates per group and 4 pigs per replicate. Pigs in the control group were fed a basal diet, while in the experimental groups were fed the basal diet supplemented with 50, 100 and 200 mg/kg β-glucan, respectively. The experiment lasted for 103 days. The results showed as follows: 1) compared with the control group, diet supplemented with 100 mg/kg β-glucan significantly increased the average daily gain (P<0.05), significantly reduced the ratio of feed to gain (P<0.05), and significantly improved the digestibility of dry matter, energy and crude protein (P<0.05) of growing-finishing pigs. 2) Compared with the control group, diet supplemented with 100 mg/kg β-glucan significantly increased carcass length and muscle pH of growing-finishing pigs (P<0.05), significantly reduced muscle drip loss and then significantly improved meat color (P<0.05), significantly increased the inosine monophosphate content in muscle (P<0.05) and changed the proportion of saturated fatty acid and unsaturated fatty acid in pork, thereby improving the flavor of meat. In conclusion, diet supplemented with 100 mg/kg β-glucan can improve growth performance, nutrient digestibility, carcass length and meat quality of growing-finishing pigs.

Keywords: β-glucan; growing-finishing pigs; growth performance; carcass performance; meat quality

i

*Corresponding author, associate professor, E-mail: 770353053@qq.com （责任编辑　田艳明）